

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07249824 A**(43) Date of publication of application: **26.09.95**

(51) Int. Cl.

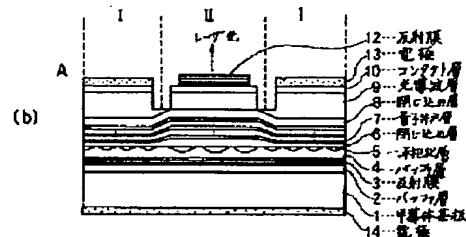
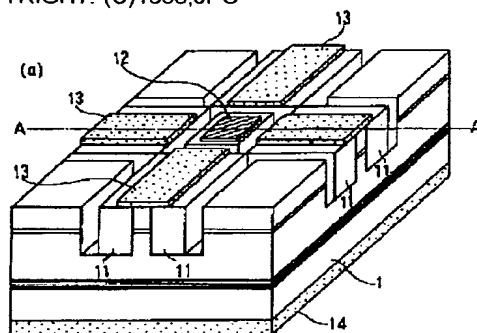
H01S 3/18(21) Application number: **06039497**(71) Applicant: **HITACHI LTD**(22) Date of filing: **10.03.94**(72) Inventor: **TANAKA TOSHIKI****(54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT AND ITS MANUFACTURE****(57) Abstract:**

PURPOSE: To reduce a high current density and a high element resistance by a method wherein a surface emitting semiconductor laser and a lateral resonator-type semiconductor laser which is excited by injecting light into the surface emitting semiconductor laser are integrated and formed on the same semiconductor substrate.

CONSTITUTION: A surface emitting semiconductor laser (a region II) which is excited and oscillated when light is injected and which has a vertical resonator structure is arranged, integrated and formed in the central part, and four semiconductor lasers (regions I) which are excited when light is injected into the surface emitting semiconductor laser and which has a lateral resonator structure are arranged, integrated and formed on a semiconductor substrate 1 so as to sandwich the surface emitting semiconductor laser (the region II). Thereby, since the surface emitting semiconductor laser is excited when light is injected from the lateral resonator-type semiconductor lasers formed on the same substrate 1 or when a current is injected and light is injected, a threshold current density at which light can be emitted can be lowered. Consequently, it is possible

to solve a problem that an element resistance and a current density which are caused by the element structure of the surface emitting semiconductor laser are high.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-249824

(43) 公開日 平成7年(1995)9月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平6-39497

(22) 出願日

平成6年(1994)3月10日

(71) 出願人

000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者

田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人

弁理士 薄田 利幸

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその製造方法

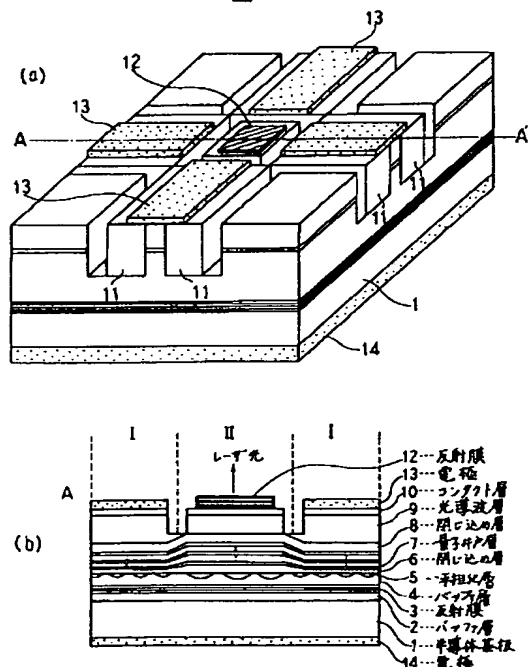
(57) 【要約】

【目的】 面発光型半導体レーザ素子の電流密度及び素子抵抗を低減する。

【構成】 半導体基板1上の中央部(領域II)に光注入励起によって発振する垂直共振器構造をもつ面発光半導体レーザを形成し、同一基板1上の面発光半導体レーザを挟んだ位置(領域I)に上記面発光半導体レーザに光注入励起を行う横共振器構造をもつ半導体レーザを集積化した。

【効果】 面発光半導体レーザは室温で容易に連続動作させることができた。全体の素子抵抗は、領域Iの横方向共振器DFBレーザに依存し、2~5Ωの範囲、閾値電流密度は0.5~0.9kA/cm²の範囲であった。高温動作については、領域IのDFBレーザが発振可能な温度まで動作でき、領域IIの面発光レーザは100℃までの連続動作が達成された。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】電流注入あるいは光注入励起によって発振する垂直共振器構造をもつ面発光型半導体レーザと、上記面発光型半導体レーザに光注入励起を行なう横方向共振器構造をもつ横方向共振器型半導体レーザとが同一半導体基板上に集積して形成されたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】請求項1項記載の半導体レーザ素子において、上記面発光型半導体レーザの活性層の禁制帯幅が上記横方向共振器型半導体レーザの活性層の禁制帯幅より小さく設定され、上記面発光型半導体レーザの活性層に対して注入により蓄積されるキャリア分布の擬フェルミレベル間エネルギーよりも上記横方向共振器型半導体レーザの活性層のエネルギーが大きく設定されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】請求項1又は2項記載の半導体レーザ素子において、上記面発光型半導体レーザの活性層に対して注入により蓄積されるキャリア分布の擬フェルミレベル間エネルギーより上記横方向共振器型半導体レーザの活性層のエネルギーが60meV以上大きく設定されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項4】請求項1、2又は3項記載の半導体レーザ素子において、上記横方向共振器型半導体レーザの活性層のエネルギーは上記面発光型半導体レーザの活性層における注入キャリア分布の擬フェルミレベル間エネルギーより大きく、光導波層及び障壁層のエネルギーよりも小さい範囲にあることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】請求項1、2、3又は4項記載の半導体レーザ素子において、上記横方向共振器型半導体レーザと上記面発光型半導体レーザの活性層構造が、圧縮又は引張歪を生ずる格子歪をもつ多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項6】請求項1、2、3、4又は5記載の半導体レーザ素子において、上記面発光型半導体レーザと上記横方向共振器型半導体レーザの各々は独立に駆動するための分離された電極をもつことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項7】請求項1、2、3、4、5又は6記載の半導体レーザ素子において、上記横方向共振器は上記面発光型半導体レーザの両側に配置された少なくとも1組をもつことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項8】請求項7記載の半導体レーザ素子において、上記横方向共振器の活性層と上記基板の間に回折格子を有する分布帰還(DFB)構造層がもうけられ、上記面発光型半導体レーザの活性層と上記基板の間に分布帰還ブラッグ反射(DBR)構造層が設けられたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項9】請求項1、2、3、4、5又は6記載の半導体レーザ素子において、上記半導体基板は基板面方位

が(100)面から[011] [0-1-1]方向又は[0-11] [01-1]方向に0°から54.7°の範囲に傾いた基板面を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項10】請求項1ないし7記載のいずれかの半導体レーザ素子において、上記横方向共振器型半導体レーザと上記面発光型半導体レーザ活性層の禁制帯幅の差が上記多重量子井戸構造における量子井戸層の厚さ及び量子井戸層を形成する材料組成によって設定されたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項11】請求項1、2、3、4、5又は6項記載の半導体レーザ素子の作成方法において、上記横方向共振器型半導体レーザと上記面発光型半導体レーザの多重量子井戸構造の活性層それぞれに対して、気相成長法における結晶の選択成長を行い、多重量子井戸構造の量子井戸層厚と上記多重量子井戸層を形成する材料組成を制御し、上記横方向共振器型半導体レーザと上記面発光型半導体レーザの領域によって異なる活性層禁制帯幅を設定することを特徴とする半導体レーザ素子の作成方法。

【請求項12】請求項11項記載の半導体レーザ素子の作成方法において、上記半導体基板上の結晶層を有機金属気相成長法又はガスソース分子線エピタキシー法のいずれかにより成長することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体レーザ素子、特に光情報処理或いは光通信用の光源に適する面発光型半導体レーザをもつ半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】面発光型半導体レーザは、2次元アレー集積が可能などの利点をもち、光情報処理或いは光通信用の光源として開発が進められている。半導体基板上に結晶を成長する方向に共振器(垂直共振器と略称)を形成し、出力光が半導体基板野面と垂直方向となる面発光型の半導体レーザにおいて、電流注入により励起された室温での連続発振が報告されている。例えば、文献電子情報通信学会1993年、4巻、179頁において述べられている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来の面発光型半導体レーザ素子は、レーザ素子抵抗が非常に大きいことにより、直接電流注入だけによってレーザ発振を得る構成では、発振を行なわせるためには電流密度が非常に高くなるという問題がある。上記文献に記載されている技術は、活性層に対して直接電流注入を行って励起させた面発光型半導体レーザの室温連続発振について述べているが、発光可能な閾値電流密度が依然10kA/cm²以上と高く、レーザ素子抵抗が非常に大きいことにより熱の発生が著しく熱放散の必要がある。高熱伝導材料を用

いた反射鏡を設けることにより放熱特性の改善を行なっているが、室温以上の高温動作や光出力の熱飽和を避けた高出力化については実用上まだ十分な特性が得られていない。また、これらの問題に対する対策や素子構造に関しては記述されていない。

【0004】本発明の目的は、従来の面発光型半導体レーザの素子構造に起因する、高い電流密度や素子抵抗を低減した半導体レーザ素子を実現することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の半導体レーザ素子は、光注入励起によって発振する面発光型半導体レーザと、上記面発光型半導体レーザに光注入励起を行なう横方向共振器構造をもつ横方向共振器型半導体レーザとを同一半導体基板上に集積して形成した。

【0006】本発明の半導体レーザ素子の好ましい形態としては、上記面発光型半導体レーザの活性層の禁制帯幅が上記横方向共振器構造をもつ半導体レーザの活性層の禁制帯幅より小さく、上記面発光型半導体レーザの活性層に対して注入により蓄積されるキャリア分布の擬フェルミレベル間エネルギーよりも上記横方向共振器型半導体レーザの活性層のエネルギーが大きく、望ましくは60meV以上に設定される。

【0007】また、上記面発光型半導体レーザ及び上記横方向共振器構造をもつ半導体レーザの活性層は圧縮又は引張歪を生じる格子歪を持つ多重量子井戸構造にすることが望ましい。

【0008】更に、光励起効率を高めること及び基板に対して垂直方向に効率良くレーザ光を引き出すために、上記横方向共振器型半導体レーザの活性層と基板との間に1次回折格子を形成した分布帰還(DFB: Distributed Feedback)構造を設け、面発光型半導体レーザの活性層と基板との間に2次回折格子を形成して横方向のレーザ光に対して垂直方向に分離させる成分を持たせる分布ブラッグ反射(DBR: Distributed Bragg Reflector)構造を設定する。また、面発光型半導体レーザを形成する部分に対しては、横方向共振器型半導体レーザによる光励起だけでなく、直接電流注入できるように電極を設けてもよいが、横方向共振器型半導体レーザに対する電流注入用電極とは独立に駆動できるように電極を設ける。

【0009】本発明の半導体レーザ素子を作成するため、特に、単一の半導体基板上に前述のように異なった特性の活性層を形成するために、気相成長法の結晶選択性を利用し、有機金属気相成長法又はガスソース分子線エピタキシー法のいずれかにより活性層を成長する。

【0010】

【作用】本発明では、面発光型レーザの発振が、同一基板上に形成された横方向共振器型半導体レーザからの光注入により励起するか、電流注入とともに光注入によ

て励起するので、発光可能な閾値電流密度を低くすることができる。以下、面発光型レーザに光注入励起を行い、面発光型レーザから低閾値でレーザ光を取り出す原理について述べる。

【0011】図2は面発光型半導体レーザ(領域I)の両側に横方向共振器を有する半導体レーザ(領域II)を配した場合のエネルギーバンド構造を示す。領域Iの量子井戸活性層の禁制帯幅 $E_g(1)$ を領域IIの量子井戸活性層の禁制帯幅 $E_g(0)$ よりも大きく設定して、領域IIの光吸収を促進させ励起効率を高める。実際には、領域IIの活性層において注入により蓄積されるキャリア分布に対して擬フェルミレベルが形成されるので、伝導帯と価電子帯における擬フェルミレベル間エネルギー $E_g(2)$ よりも大きい $E_g(3)$ に相当するエネルギーを領域Iの擬フェルミレベル間エネルギーとして得ることができるようにする。このとき、 $E_g(3)$ は $E_g(2)$ よりも望ましくは60meV以上大きく、障壁層のエネルギー高さよりも小さいことが効率のよい光注入励起を達成する。すなわち、領域Iが領域IIの憂慮を受けずに効率よい光励起を実現するには、面発光レーザが発振したときの発振エネルギーを持つ誘導放出が横方向共振器レーザの活性層において光吸収が生じてキャリア反転分布が乱れて横方向共振器レーザの特性変動が生じないように、しかも領域Iからのレーザ光エネルギーが効率よく領域IIに光吸収が行われる必要が有る。領域Iに対して領域IIがほぼ透明となり、光吸収損失を及ぼさないことを考慮して、光吸収特性の実験を行った結果、禁制帯エネルギーの大きな材料はその小さい材料よりも60meV以上の差を有しているときにほぼ透明で無視し得る光吸収損失に抑制できることが判明した。

【0012】上記エネルギー幅 $E_g(3)$ と $E_g(2)$ の差を領域IとIIに対応して設定するために、気相成長法の結晶選択性を利用して多重量子井戸構造活性層を成長する。領域IIにおいて、 SiO_2 や SiN 等の絶縁膜を用いて一方向だけを囲うか周囲を囲った狭いパターンを形成することにより、気相成長法では選択成長ができる。この領域選択成長では、絶縁膜上に元素が成長せず、マイグレーションすることによってパターン内で元素の成長速度が大きくなるため、多重量子井戸構造の活性層の量子井戸幅を広げることができる。このとき、3元素以上の元素を用いた混晶の量子井戸層では材料組成も変わることになるので、量子井戸幅の変化とともに実効的に禁制帯幅に影響する。即ち、絶縁膜のパターンの内外において、パターン幅と量子井戸層の成長速度及び材料組成を制御することにより、領域の禁制帯幅に差をもたせることができ、前述のエネルギー差60meV以上に設定させることができる。

【0013】

【実施例】

＜実施例1＞図1は、本発明による半導体レーザ素子の

一実施例の構造を示す図で、(a)及び(b)は、それぞれその斜視図及びA-A'部の断面図を示す。図示のように、半導体基板1上には、中央部に光注入励起によって発振する垂直共振器構造をもつ面発光型半導体レーザ(領域II)と、上記面発光型半導体レーザに光注入励起を行なう横方向共振器構造をもつ4つの半導体レーザ(領域I)が面発光型半導体レーザ(領域II)を挟むように配置、集積して形成されている。

【0014】本実施例の詳細な構造を製造工程と関連して説明する。

【0015】基板面方位が(100)から【011】又は【0-1-1】方向(一符号は結晶軸座標において負の方向を示す)に15.8°オフした面方位(511)のn型InP基板1上に、n型InPバッファ層2(層の厚さ $d=0.5\mu\text{m}$ 、 $N_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、n型In_{0.4}Ga_{0.6}As層($d=0.108\mu\text{m}$ 、 $N_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)とn型In_{0.52}Al_{0.48}As層($d=0.115\mu\text{m}$ 、 $N_0=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を40周期交互に繰り返したDBR構造の高反射膜3、n型InP層4($d=0.15\sim 0.2\mu\text{m}$ 、 $N_0=7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)を順次成長する。

【0016】この後、領域Iには発振波長 $1.55\mu\text{m}$ に対して1次の回折格子を形成し、領域IIには上記発振波長に対して2次の回折格子を形成するように、ホトリソグラフィによりマスクを形成し、さらにケミカル或いはドライエッチングによって50~70nm深さの周期的な溝を形成する。次に、InGaAsP層5($\lambda=1.05\mu\text{m}$ 、 $d=0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ 、 $N_0=5\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)を成長することにより、領域IとIIの回折格子の段差を平坦に埋め込む。その後、絶縁膜SiNマスクを領域IIを囲うように形成して、n型InGaAsP光分離閉じ込め層6($\lambda=1.05\mu\text{m}$ 、 $d=0.1\sim 0.15\mu\text{m}$ 、 $N_0=3\sim 5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)とInGaAsP量子障壁層6($\lambda=1.15\mu\text{m}$ 、 $d=10\text{nm}$)と引張歪InGaAs量子井戸層7($\lambda=1.55\mu\text{m}$ 、 $d=10\text{nm}$)を10周期成長する。このとき、領域IではInGaAs量子井戸層の厚さ d は7nmとなっており、領域IIの量子井戸層における量子準位間エネルギーよりも60meV以上の大きい差を設けることができる。

【0017】続いて、p型InGaAsP光分離閉じ込め層8($\lambda=1.05\mu\text{m}$ 、 $d=0.1\sim 0.15\mu\text{m}$ 、 $N_0=3\sim 5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)、p型InP光導波層9($d=1.5\sim 2.0\mu\text{m}$ 、 $N_0=5\times 10^{17}\sim 1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、p型InGaAsPコンタクト層10($\lambda=1.05\mu\text{m}$ 、 $d=0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 、 $N_0=4\times 10^{18}\sim 9\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を順次エピタキシャル成長する。次に、ホトリソグラフィにより絶縁膜マスクパターンを形成し、メサ状にエッチングした後、p型InP層とn型InP層を交互に2回繰り返した埋込層11

を選択的に形成する。次に、SiO₂とSiを交互に繰り返した誘電体DBR構造の高反射膜12を領域IIの上面に形成する。

【0018】更に、ホトリソグラフィによりリフトオフを用いてp側電極13を形成し、その後ホトリソグラフィによりマスクを作製してドライエッチングによって領域IとIIの素子及び電極の分離を行ってから、n側電極14を蒸着する。最後に、スクライプして1図に示す素子の形状に切り出す。上記実施例において、n型InP基板1の面方位は、基板面方位が(100)から【011】又は【0-1-1】方向に15.8°オフした面方位(511)のものを使用したが、基板面方位が(100)面から【011】【0-1-1】方向又は【0-11】【01-1】方向(一符号は結晶軸座標において負の方向を示す)に0°から54.7°の範囲であればよい。

【0019】本実施例によると、領域Iの横方向共振器DFBレーザの光注入励起により、領域IIにおいて垂直共振器をもつ面発光レーザを室温で容易に連続動作させることができた。ここで、従来電流注入だけによる面発光レーザにおいて問題になっていた10~20Ω以上の高い素子抵抗は、領域IIの面発光レーザでは光注入励起によるため電流は流れず、問題はなくなる。全体の素子抵抗は、領域Iの横方向共振器DFBレーザに依存しており、2~5Ωの範囲にある。また、従来の面発光レーザでは10kA/cm²以上と高い閾値電流密度に対して、本実施例では横方向共振器DFBレーザの1kA/cm²より低い閾値電流密度の0.5~0.9kA/cm²の範囲であった。

【0020】従来高い素子抵抗と電流密度による発熱に起因して、室温以上の高温動作や光出力が制限されていた。しかしながら、本実施例によりこれらを改善させることができた。即ち、高温動作については、領域Iの横方向共振器DFBレーザが発振可能な温度まで動作でき、領域IIの面発光半導体レーザは100℃までの連続動作が達成された。

【0021】光注入励起による面発光レーザの閾値や光出力に関しては、以下の通りである。相向かう領域Iの2つの横方向共振器DFBレーザにより励起された場合、室温において2つの横方向共振器DFBレーザに5~10mAの電流注入を行って全体で20mA以下で領域IIの面発光レーザが発振する閾値に到った。領域Iの2対の相向かうDFBレーザにより励起された場合、全体で15mA以下で領域IIの面発光レーザの閾値に達した。面発光レーザの光出力は、相向かう1対のDFBレーザの励起による場合、室温において10~20mWの連続動作が得られ、相向かう2対のDFBレーザにより励起されると、40~50mWの連続動作が可能であった。

【0022】＜実施例2＞本発明の他の実施例を説明す

る。実施例1と全く同様にして作製するが、領域IIにおいて誘電体膜によるDBR構造高反射膜12と隣接してp側に電極を設ける。本実施例2では、実施例1の効果が得られる外に、従来直接電流注入だけでは素子抵抗と電流密度が高いために、直接変調が困難であった面発光レーザに対して、横方向共振器DFBレーザの光注入励起を行った外部変調によりこれまでに比べて高速変調が可能となった。

【0023】領域IIだけに電流注入した場合、室温において20～30mAの閾値電流で連続動作は得られたが、直接変調時における3dBダウンの変調周波数は5GHzが最高であった。一方、領域IIに閾値以下の電流を注入しておき、外部変調として領域Iの横方向共振器DFBレーザの変調光信号を入力することにより、全体で10～15mAの低閾値である面発光レーザの高速変調が可能であった。変調時に得られた3dBダウンの変調周波数は15GHzであり、変調光信号の消光比は20dB以上であった。

【0024】

【発明の効果】面発光レーザの周辺部に設けた横方向共振器DFBレーザの光注入励起により、従来の面発光レーザにおいて素子抵抗と電流密度が高いという問題を解決し、これまでに得られなかった素子特性として高温動作100℃以上と光出力40～50mWを達成した。また、横方向共振器DFBレーザを外部変調として用いる

ことにより、これまでの面発光レーザでは実現されなかった変調周波数を15GHz以上にでき、変調光信号の消光比20dB以上を得ることができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体レーザ素子の一実施例の構造を示す図

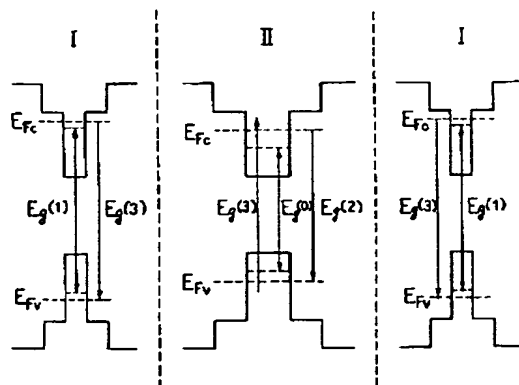
【図2】本発明の半導体レーザ素子の構造領域における活性層禁制帯幅の関係を示す図

【符号の説明】

- 10 1:n型InP基板
- 2:n型InPバッファ層
- 3:n型InGaAs/InAlAs層DBR構造高反射膜
- 4:n型InPバッファ層
- 5:p型InGaAsP層
- 6:n型InGaAsP光分離閉じ込め層
- 7:アンドープInGaAs/InGaAsP引張歪多重量子井戸構造活性層
- 8:p型InGaAsP光分離閉じ込め層
- 20 9:p型InP光導波層
- 10:p型InGaAsPコンタクト層
- 11:p型InP/n型InP埋込層
- 12:SiO₂/Si誘電体DBR構造高反射膜
- 13:p側電極
- 14:n側電極

【図2】

図2



【図1】

図1

